

Bradalsmyra testsenter Overvåkning av metallkonsentrasjoner i bekker og grunnvannsig



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

Tittel Bradalsmyra testsenter Overvåkning av metallkonsentrasjoner i bekker og grunnvannsig.	Løpenr. (for bestilling) 6746-2014	Dato 1. desember 2014
	Prosjektnr. Undernr. 14065	Sider Pris 21
Forfatter(e) Sigurd Rognerud	Fagområde miljøgifter	Distribusjon Fri
	Geografisk område Oppland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Nammo Raufoss AS	Oppdragsreferanse Trond Simen Aasmundstad
--------------------------------------	---

Sammendrag

Bradalsmyra er Nammo Raufoss AS sitt testsenter for utprøving av ny ammunisjon. Området avvannes hovedsakelig av Veltmannåa, men også via mindre bekker som avvanner miljøtestanlegget, verkstedområdet og rakettestandplassen. I starten (1991-2004) ble forurensningsgraden vurdert på bakgrunn av konsentrasjoner av bly, kobber, sink, antimon i vannmoser. Siden har metallene, pH og TOC vært undersøkt i vannfasen. Aktiviteten ved testsentert har ikke bidratt til nevneverdig forurensning av metaller i bekkene nedstrøms testsentert i overvåkingsperioden. Enkelte episodiske utslipp av metaller har blitt oppfangert av overvåkingen og kildene fjernet. Konsentrasjonene av bly, sink og antimon har hovedsakelig vært lavere enn LBRL grensene (Lowest Biological Risk Level). Konsentrasjonene av kobber har tidvis oversteget LBRL i noen bekker, men kompleksdannere (TOC) gjør at sjansene for negative biologiske effekter vurderes som relativt liten. Likevel bør utviklingen følges nøye gjennom overvåking, slik at tiltak kan settes inn raskt hvis nødvendig. Konsentrasjonene av metaller i et sig fra et eldre metalldeponi har ikke nådd Veltmannåa, antagelig fordi metallene er bundet i løsmassene. Konsentrasjonene av sink og antimon har steget i bekkene fra henholdsvis miljøtestanlegget og verkstedsområdet de siste 3 årene og kildene til dette bør fjernes.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Skytefelt	1. Shooting range
2. Overvåkning	2. Monitoring
3. Metallkonsentrasjoner	3. Metal concentrations
4. Forurensningsgrad	4. Degree of impact



Sigurd Rognerud
Prosjektleder



Elisabeth Lie
Forskningsleder

Bradalsmyra testsenter

Overvåkning av metallkonsentrasjoner i bekker og
grunnvannsig

Forord

Vi rapporterer her resultatene fra undersøkelsene av konsentrasjoner av kobber, bly, sink og antimon samt viktige forklaringsvariable som pH og TOC i bekker og et grunnvannsig på Bradalsmyra testsenter i perioden 2004 til desember 2014. Ved hjelp av regresjons-modeller er konsentrasjonene i vann omregnet til metaller-konsentrasjoner i vannmoser fordi disse ble nyttet til å måle midlere metallkonsentrasjoner i vann over tid (ca. 4 uker) i første fase av overvåkingen (1991-2004). Derved får vi en også en indikasjon på tidstrenden med hensyn til variasjoner i metall-konsentrasjoner over hele perioden (1991-2014). I 2014 er programmet utvidet til 6 runder med prøvetakning.

Prosjektet ble bekreftet 10. januar 2014, og Nammo Raufoss AS er oppdragsgiver. Kontaktperson ved testsenteret har vært Trond Simen Aasmundstad, som sammen med andre gode hjelpere på testsenteret takkes for godt samarbeid.

Feltarbeidet har vært gjennomført av Sigurd Rognerud, og alle analysene er utført ved NIVAs laboratorium i Oslo.

Ottestad, 01.desember 2014



Sigurd Rognerud

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Metoder	7
2.1 Innsamling og vannanalyser	7
2.2 Grunnvannsbrønner	7
2.3 Klassifisering av tilstand	7
3. Resultater	8
3.1 Humuspåvirkning og pH	8
3.2 Veltmannåa	9
3.2.1 Tidstrend i metallkonsentrasjoner basert på vannmoser	9
3.2.2 Tidstrend basert på vannanalyser	9
3.2.3 Sammenheng mellom TOC og metallkonsentrasjoner	10
3.3 Bekkene fra verkstedområdet, miljøtestanlegget og raketstandplass	11
3.3.1 Tidstrend i metallkonsentrasjoner basert på vannmoser	11
3.3.2 Tidstrend basert på vannanalyser	11
3.3.3 Sammenheng mellom metallkonsentrasjoner	12
3.3.4 Raketstandplass	13
3.4 Utlekking av metaller fra deponiet	13
3.4.1 Grunnvannsbrønnen	13
3.4.2 Bekk 4	14
4. Diskusjon	15
5. Referanser	16
Vedlegg A.	17

Sammendrag

Bradalsmyra er Nammo Raufoss AS sitt testsenter for utprøving av ny ammunisjon. Området avvannes hovedsakelig av Veltmannåa, men også av andre mindre bekker som bl.a avvanner miljøtestanlegget, verkstedområdet og raketstandplassen. Testsenteret har også et deponi som inneholder ”metallavfall” etter overflatebehandling ved tidligere Raufoss Våpenfabrikk. Dette er avsluttet og tildekket, men potensielt dreneres deponiet til Veltmannåa.

Miljødirektoratet har benyttet ”Lowest Biological Risk Level (LBRL)” som nedre konsentrasjonsgrenser for ulike metaller ved riskovurderinger i forbindelse med avrenning fra skytebaner. LBRL-konsentrasjonene for Cu, Pb og Zn sammenfaller med øvre grense for tilstandsklasse III i Miljødirektoratets klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann, mens for antimon er drikkevannsnormen valgt.

I Veltmannåa har konsentrasjonene av kobber, bly, sink og antimon i overvåkingsperioden vært lavere eller nær LBRL grensene (Lowest Biological Risk Level). Det har tidvis vært et lite bidrag av kobber og bly fra testsenteret til Veltmannåa, men dette vurderes som å ha liten betydning. Konsentrasjonene av metaller i en grunnvannsbrønn nedstrøms et metalldeponi har vært høyere enn i Veltmannåa, men dette kan ikke spores i form av økning av metallkonsentrasjonen i Veltmannåa. Dette skyldes antagelig at nedbørfeltet der deponiet ligger utgjør en svært liten del av nedbørfeltet til Veltmannåa oppstrøms utløpet fra testsenteret, og at metaller bindes til finkorna partikler i jorda nedenfor deponiet før det når Veltmannåa. Dette bekreftes ved de lave metallkonsentrasjonene som ble tidligere ble observert i et grunnvannsutsig nedstrøms grunnvannsbrønnen. Grunnvannsbrønnen ble fylt av med finkorna sedimenter i 2010 og er ikke lenger operativ, men en liten bekk (bekk 4) som avvanner området har lave metallkonsentrasjoner. Testsenteret avvannes i all hovedsak av Veltmannåa og vannkvaliteten i denne bekken kan ha betydning for brukere i områdene nedstrøms. Overvåkningen har imidlertid vist at aktiviteten ved testsenteret ikke har forringet vannkvaliteten nevneverdig i Veltmannåa med hensyn til de metaller vi har undersøkt.

Et bekkesig ved raketstandplassen har inngått i overvåkning fra og med høsten 2011. Bekkene fra verkstedsområdet, miljøtestanlegget og raketstandplass har alle lave vannføringer, og eventuelle utslipp av metaller vil raskt kunne spores i form av økte konsentrasjoner. I overvåkingsperioden har konsentrasjonene av metaller i all hovedsak vært lavere enn LBRL-grensene, men det har vært episodiske unntak slik som et utslipp av bly i 1993 (verkstedsområdet) og 1997 (miljøtestsenteret). Konsentrasjonene av sink og antimon har steget i bekkene fra henholdsvis miljøtestanlegget og verkstedsområdet de siste 3 årene og denne utviklingen bør ikke fortsette. Derfor bør kildene identifiseres og fjernes. Det kan også nevnes at konsentrasjonen av kobber i periodevis har ligget litt over LBRL både ved raketstandplass og fra verkstedområdet. Denne overskridelsen vurderes imidlertid ikke som kritisk for organismer i disse bekkene da konsentrasjonen av organiske kompleksdannere (målt som TOC) er relativt høyt.

Bidrag av vann fra skogsområdene nedstrøms testsenteret vil fortynne metallkonsentrasjonene. Med unntak av de ovennevnte episodene har aktiviteten ved verkstedsanlegget og miljøtestanlegget ikke forurenset bekkene nevneverdig og forringet vannkvaliteten for eventuelle brukere nedstrøms.

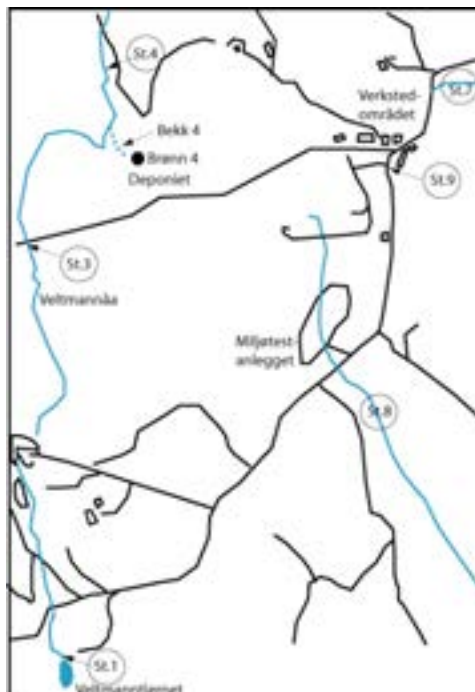
Som en oppsummering kan vi si at aktiviteten ved testsentert ikke har bidratt til vannforurensning av betydning for brukere nedstrøms i overvåkingsperioden 2004-2014. Da metallene er nær knyttet til organiske forbindelser (TOC) i bekkene er det er lite sannsynlig at akvatisk biota har vært skadelidende. Overvåkningen har pågått i 23 år og den har vært viktig da deponier som har hatt en økt utlekking av metaller over tid har blitt fjernet før det oppsto problemer for biota eller andre brukere.

1. Innledning

På Bradalsmyra testes konvensjonell ammunisjon og det prøves ut ny ammunisjon. Området avvannes hovedsakelig av Veltmannåa, men også av mindre bekker fra miljøtestanlegget, verkstedområdet og raketstandplass (Fig.1). Et metalldeponi ligger nord for kjøretraseen til det nordligste kulvertanlegget (Fig.1). Der er det deponert metaller som var "avfall" etter overflate-behandling ved Raufoss Våpenfabrikk. Det er uklart i hvilken grad det var faste masser (utfelte metaller etter såkalt avgiftning) som ble deponert, eller om metallene ble deponert som vandige løsninger. Det ble tilsatt kalk som skulle skape et alkalisk miljø og derved bidra til å felle ut metallene slik at de ikke forurenset Veltmannåa.

Vannkvaliteten i Veltmannåa ble undersøkt i 2004. Da ble det konkludert med at deponiet ikke forurenset Veltmannåa (Rognerud 2004). I 2004 ble det etablert flere grunnvannsbrønner nedstrøms deponiet for å følge utviklingen i forurensningsgraden av grunnvannet ned mot Veltmannåa. En av disse, Brønn 4 (Fig.1), ble undersøkt årlige, men høsten 2010 ble den fylt av finkorna sedimenter og siden har prøvene blitt tatt i en bekk som kommer ut i dagen nærmere Veltmannåa (bekk 4, Fig.1). Deponiet er en potensiell kilde til forurensning. For å kunne vurdere betydningen av denne kilden ble det i 2006 etablert en ny stasjon i Veltmannåa oppstrøms utsiget fra deponiet (st.3, Fig.1). Høsten 2011 ble det også opprettet en ny stasjon (st.9) i vannsaget ved Raketstandplassen (Fig.1).

Hensikten med overvåkingen er å avklare om vannkvaliteten i bekkene med hensyn til metaller er tilfredstillende når de renner ut av testsenterets avgrensede område. Vi rapporterer her resultatene fra undersøkelsene i 2014, sammen med tidligere data over vannkvalitet og analyser av metaller i vannmose. Fra og med 2014 blir det lagt opp til en helårlig undersøkelse med 6 prøverunder. Dette gjør det mulig å følge tidutvikling i vannkvaliteten hyppigere og sikre at tiltak kan settes inn på et tidligere stadium hvis det skjer episodiske utslipp eller en negativ utvikling i over tid.



Figur 1. Bradalsmyra testsenter med veinett, bekker og prøvetakningspunktene i Veltmannåa (St.1, 3 og 4), fra verkstedsområdet (st. 7), miljøtestsenteret (st. 8), raketstandplass(st.9) og i en grunnvannsbrønn (brønn 4) nedstrøms deponiet. I 2011 var denne brønnen fylt av sedimenter og nytt prøvepunkt (bekk 4) ble etablert i et grunnvannsig som kommer ut i dagen 15 m nedenfor brønn 4.

2. Metoder

2.1 Innsamling og vannanalyser

Det er samlet inn prøver fra 3 stasjoner i Veltmannåa og en stasjon i bekkene som avvanner henholdsvis verkstedområdet, miljøtestsenteret og raketstandplassen. I 2006 ble det opprettet en ny stasjon i Veltmannåa (st.3) oppstrøms utsig fra metalldeponiet. Det ble samlet inn vannprøver fra en grunnvannsbrønn (Brønn.4) av i alt 5 brønner som ble opprettet nedstrøms deponiet i 2004 (Rognerud 2004). Prøvene fra brønnen ble hentet opp med elektriske miljøpumper som ble senket ned i røret. Fra og med 2011 er prøvene tatt 15 m nedenfor brønn 4, der hvor grunnvannet slår ut i dagen. Årsaken er at brønnen er fylt opp av finstoff og ikke fungerer lenger. Vannprøvene for metallanalyser ble samlet inn på syrevaskede plastflasker, mens vann for analyse av pH og TOC ble samlet inn på andre rengjorte plastflasker. Metallene er analysert etter metode E 8-3 gitt i metodebeskrivelser ved NIVAs akkrediterte laboratorium. Bruk av moser som biomonitor av metaller måtte opphøre i 2006 på grunn av økende problemer med nedslamming. For å videreføre tidsserien som startet i 1991 er middelkonsentrasjoner av bly og kobber i moser estimert på bakgrunn av regresjoner mellom metallkonsentrasjoner i mose og vann gitt i tidligere overvåkningsdata fra Bradalsmyra (Rognerud 2005). Omregningen er gjort på bakgrunn av følgende ligninger:

St.1 og 4: Cu-mose = 9,4 Cu-vann + 5,8 (n = 37, $r^2 = 0,41$), Pb-mose = 21,6 Pb-vann + 7,9 (n = 40, $r^2 = 0,42$).
 St. 7: Cu-mose = 10,0 Cu-vann + 15,1 (n = 20, $r^2 = 0,45$), Pb-mose = 24,4 Pb-vann + 14,9 (n = 20, $r^2 = 0,52$)
 St. 8: Cu-mose = 11,1 Cu-vann + 9,0 (n = 20, $r^2 = 0,48$), Pb-mose = 21,6 Pb-vann + 7,9 (n = 20, $r^2 = 0,45$)

2.2 Grunnvannsbrønner

I 2004 ble det satt ned 5stk 63 mm overvåkningsbrønner med filter og lokk. Renset filtersand (kvarts) ble benyttet til omfylling. Lengden på rørene er ca. 2 m. Brønn 0 (referansen) ligger ovenfor deponiet, Brønn 1 er i selve deponiet, mens Brønn 2, 3 og 4 ligger nedstrøms deponiet med henholdsvis økende avstand. I 2005 ble bare Brønn 0 og 4 undersøkt, mens fra og med 2006 er kun Brønn 4 undersøkt da dette er siste målepunkt før grunnvannsiget fra deponiet når Veltmannåa. Koordinatene for denne er: N 60° 42.822', E 10° 32.900'. Denne er nå fylt opp av finstoff og prøvene tas i en bekk 15 m nedenfor.

2.3 Klassifisering av tilstand

I 1992 utviklet Statens Forurensningstilsyn (SFT nå Miljødirektoratet) et system der vannkvalitet ble inndelt i tilstandsklasser (Holtan og Rosland 1992). Denne klassifikasjonen ble revidert i 1997 (Andersen et al. 1997). SFT har benyttet såkalte "Lowest Biological Risk Level (LBRL)" utviklet av Lydersen et al. (2002) som nedre konsentrasjonsgrenser for ulike metaller for risikovurderinger i avrenning fra skytebaner (Rognerud og Rustadbakken 2007). Dette er samme system som ble lagt til grunn ved konsesjonsbehandling av Regionfelt Østlandet etter anbefaling fra NIVA. Forsvarsbygg har benyttet LBRL ved risikovurderinger for avhending av skytebaner og konsentrasjonene for Cu, Pb og Zn sammenfaller med øvre grense for tilstandsklasse III i Miljødirektoratets klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann (Tab.1). Ingen grenseverdi er gitt for antimon, men her er drikkevannsnormen valgt.

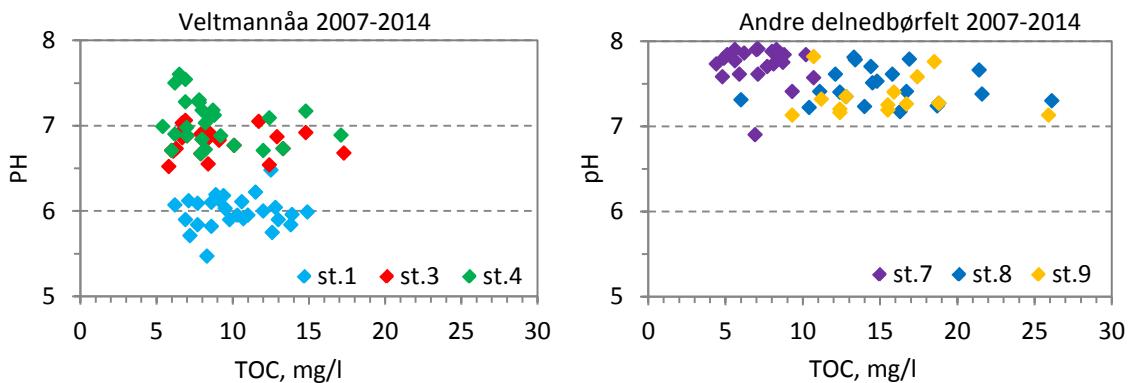
Tabell 1. Lowest Biological Risk Level (LBRL) for konsentrasjoner av kobber (Cu), bly (Pb) og sink (Zn) i vann. LBRL verdiene er de samme som øvre grense for tilstandsklasse III i klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. Drikkevannsnormen er valgt for antimon (Sb).

metall	Cu	Pb	Sb	Zn
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
LBRL	3	2,5	5	50

3. Resultater

3.1 Humuspåvirkning og pH

Det var til dels stor variasjon i pH og TOC mellom de ulike målepunktene (Fig.2). Veltmannåa er humuspåvirket og pH økte gjennom feltet (fra st.1 til 3 og 4). Bekkene fra verkstedområdet (st.7), miljøtestanlegget (st.8) og rakettestandplass (st.9) har alkalisk vann, og er moderat (st.7) til betydelig humuspåvirket (st.8, 9). Dette er naturlig da mye av verkstedsområdet er asfaltert, mens det er myrlendt ved de andre stasjonene. Grunnvannet nedstrøms deponiet (brønn 4) har hatt stor variasjon i pH og TOC fordi utsiget fra det kalkede metalldeponiet har større betydning til enkelte tider. Bekken som slår ut i dagen nedenfor Brønn 4 (bekk 4) har alkalisk og lite humuspåvirket vann (Tab.4 i vedlegget).



Figur 2. TOC og pH i Veltmannåa (st.1,3,4), i bekkene fra verkstedområdet (st.7), miljøtestanlegget (st.8), rakettestandplass(st.9) i perioden 2007-2014.

3.2 Screening av metaller

I 1999, 2004 og 2014 ble det undersøkt et utvalg metaller for å sikre at vi fikk med de viktigste i den årlige overvåkingen (Tabell 2). Metaller valgt i rutinemessig overvåking er merket rødt.

Tabell 2. Analyser av et utvalg metaller ($\mu\text{g/L}$) i 3 ulike år, tidspunkt og på 4 stasjoner.

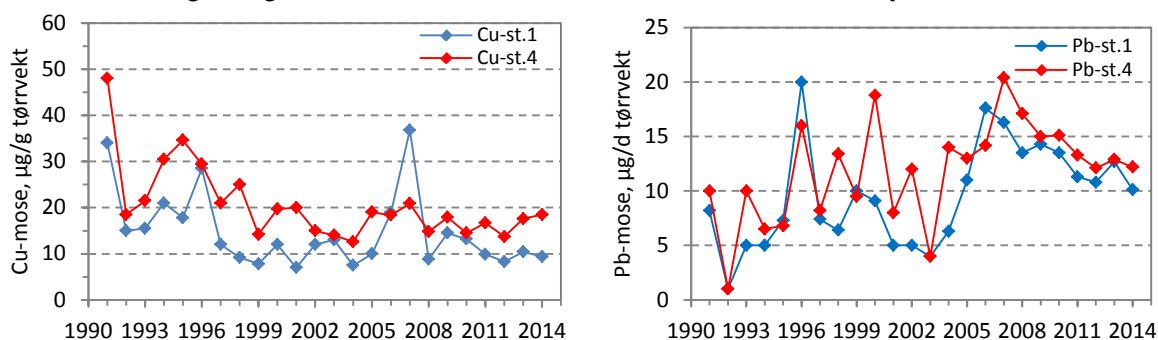
Br.myra	st.	Be	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Pb
27.07.1999	7	0,02	0,78	69	348	0,15	0,34	2,1	7,7	0,36	0,01	1,1	0,07
01.10.1999	7	0,03	0,81	89	317	0,14	0,30	2,9	9,5	0,34	0,02	1,7	0,09
27.07.1999	8	0,03	1,40	73	1015	0,28	0,61	1,9	14	0,43	0,06	0,31	0,72
01.10.1999	8	0,02	2,01	106	1196	0,32	0,78	1,3	9,0	0,44	0,05	0,15	0,24
07.07.2004	1		0,88				0,71	0,6	5,0		0,03	0,08	0,25
07.07.2004	4		0,18				0,77	1,87	5,4		0,01	0,10	0,47
04.08.2004	1		0,62				0,95	0,63	3,0		0,03	0,06	0,31
04.08.2004	4		0,46				0,50	1,17	3,0		0,02	0,20	0,33
30.08.2004	1		0,76	11	200		0,61	0,43	3,38		0,01	0,1	0,21
30.08.2004	4		0,82	32	215		0,50	1,14	3,28		0,01	0,1	0,24
04.11.2004	1		0,20	24	260		0,45	0,32	2,01		0,01	0,05	0,14
04.11.2004	4		0,10	23	290		0,42	1,36	2,93		0,01	0,09	0,24
20.08.2014	1		0,20	77	560		0,60	0,48	5,01		0,02	0,01	0,14
20.08.2014	4		1,30	32	456		1,10	1,61	8,37		0,01	0,21	0,21

Siden Bradalsmyra er et skytefelt var det naturlig å fokusere på Cu, Zn, Sb, og Pb da disse er viktig bestandeler i ammunisjon. Det var også oftest en økning i Veltmannåa gjennom feltet (st.1 til 4) for disse metallene, og de hadde også ofte høyere konsentrasjoner i feltene fra verkstedsområdet og miljøtestanlegget (st.7 og 8) en i Veltmannåa. Andre metaller som Cd, As, Ni, Co og Be var konsentrasjonene lavere enn 1 µg/L og de ble ikke inkludert i den rutinemessige overvåkingen.

3.3 Veltmannåa

3.3.1 Tidstrend i metallkonsentrasjoner basert på vannmoser

Middelkonsentrasjonen av kobber i vannmoser har vist en synkende trend fra 1991 til 1999 (Fig.3). Etter dette har det vært små endringer fra år til år. Konsentrasjonen av kobber var høy i st.1 i 2007, men da ble det bare gjort en måling over 3 uker og den er neppe representativ. Omregning fra metallkonsentrasjoner i vann til konsentrasjoner i moser bør være basert på minst 3 målinger over sesongen. Med unntak av 2007, så var konsentrasjonene av kobber høyere i bekken ut av feltet (st.4) enn inn i feltet (st.1). Konsentrasjonene av bly var nær de samme på st.1 og st.4 og det var en svak tendens til økning fra og med 2004-2007, mens trenden etter dette har vært synkende.

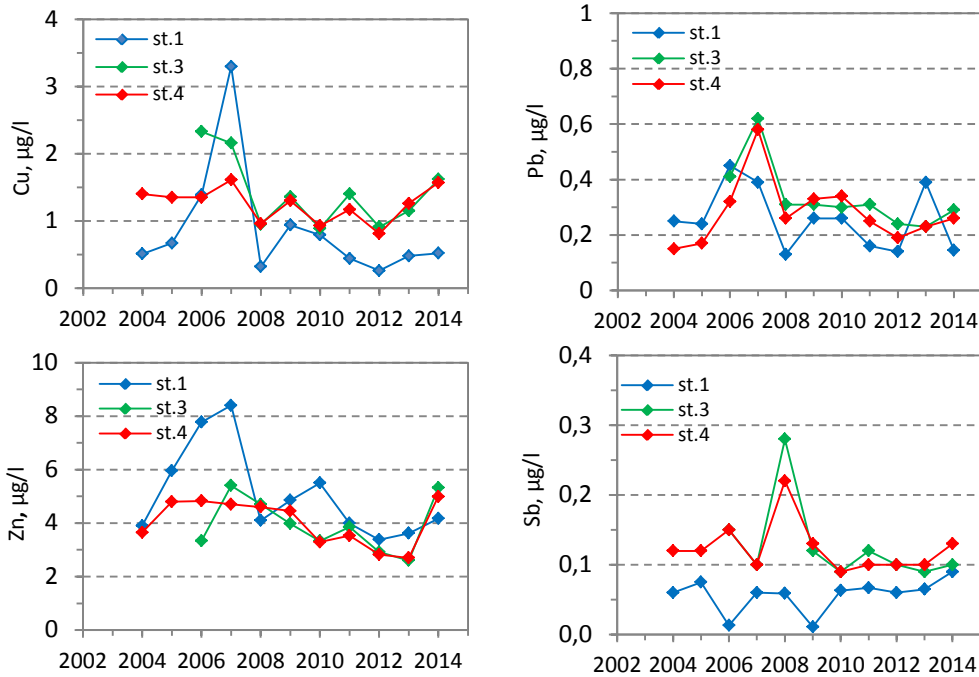


Figur 3. Middeldkonsentrasjonene av kobber (Cu) og bly (Pb) i vannmoser i Veltmannåa. St. 1 er inn i feltet og St.4 ut av feltet. Fra og med 2006 er konsentrasjonene estimert (se metodekapitlet).

3.3.2 Tidstrend basert på vannanalyser

I 2014 var middelkonsentrasjonene av Pb og Sb i Veltmannåa på nivå med de fire foregående årene, mens en svak økning fant sted for Cu og Zn (Fig.4). I 2007 ble det kun tatt en stikkprøve i september. Målingene dette året kan derfor ikke sies å være representative for sesongen på de ulike stasjonene, og de vil ikke bli vektlagt i vurderingen av tidstrener. Det ligger en brennplass nær der Veltmannåa renner inn i feltet (st.1). Avrenning av metaller knyttet til virksomhet ved denne høsten 2006 og i 2007 kan være en mulig forklaring på hvorfor konsentrasjonene av kobber og sink var betydelig høyere ved st.1 i denne perioden enn etter 2007 (Fig.4 og Tab.2 i vedlegget). De 3 siste årene har det vært et lite og påslag av kobber (ca 1 µg/L), bly (0,1 µg/L) og antimon (0,06 µg/L) i Veltmannåa på veien gjennom testsentert (fra st.1 til 3 og 4). Etter at sink-kilden ved brennplassen forsvant har det vært ubetydelige forskjeller på sink- konsentrasjoner inn og ut av feltet, men i 2014 var det igjen et lite påslag. For bly har vært en nær de samme konsentrasjonene inn og ut av feltet de siste 5 årene.

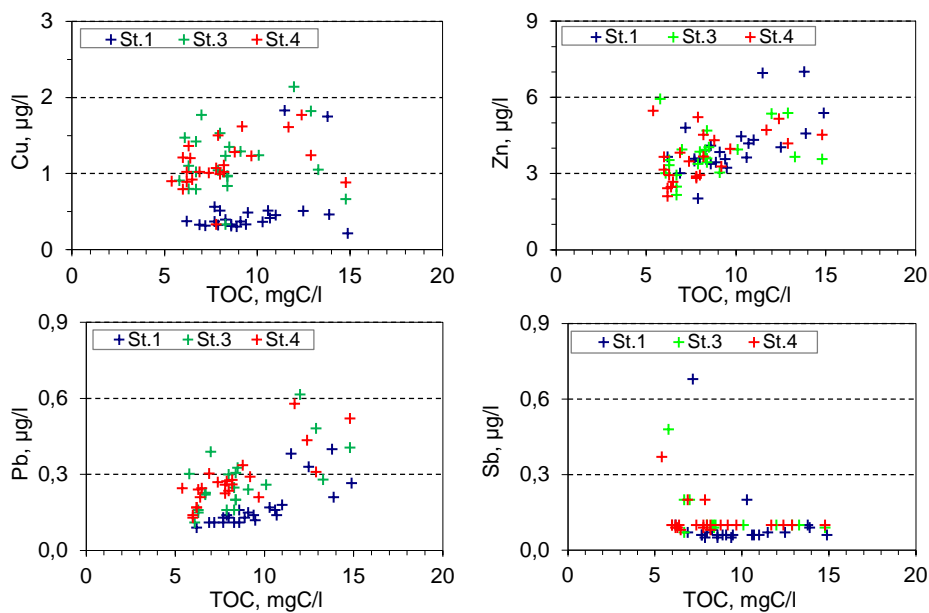
Generelt har konsentrasjonene av metaller i Veltmannåa vært relativt lave i hele overvåkningsperioden. De noe høyere konsentrasjoner som opptrer episodisk var ofte knyttet til lav vannføring og høye humuskonsentrasjoner gitt som TOC (Fig.5). Vi kan derfor konkludere med at testsentert ikke forurenses Veltmannåa nevneverdig med metaller relatert til bruk av ammunisjon slik som kobber, bly, sink og antimon, men tidvis kan det være økt avrenning av metaller fra brennplassen oppstrøms feltet.



Figur 4. Middelskonsentrasjoner av kobber (Cu), bly (Pb), sink (Zn) og antimon (Sb) i Veltmannåa ved innløpet til testsenteret (st.1), ovenfor siget fra metalldeponiet (st.3) og ved utløpet av feltet (st.4).

3.3.3 Sammenheng mellom TOC og metallkonsentrasjoner

Det var generelt en positiv sammenheng mellom totalt organisk karbon (TOC) og konsentrasjoner av bly, kobber og sink i Veltmannåa, mens for antimon var det ingen sammenheng (Fig.5). I Veltmannåa er TOC et mål på humuspåvirkningen. Det er godt kjent at bly og kobber oftest er sterkt bundet til humuskomplekser, men denne bindingen er svakere for sink, og spesielt antimon som opptrer som et anion i vann. Det er derfor rimelig at konsentrasjonene av bly, kobber og oftest sink vil følge variasjonene i TOC over året i Veltmannåa, men ikke nødvendigvis ved episodiske utslipp.

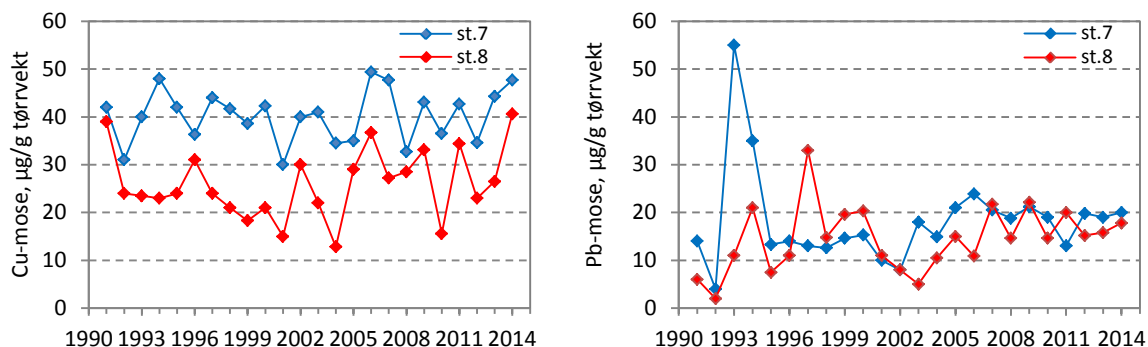


Figur 5. Sammenhengen mellom TOC (totalt organisk karbon) og konsentrasjoner av metaller på ulike stasjoner i Veltmannåa (2007-2012).

3.4 Bekkene fra verkstedområdet, miljøtestanlegget og raketstandplass

3.4.1 Tidstrend i metallkonsentrasjoner basert på vannmoser

Middelkonsentrasjonene av kobber i vannmose har vært relativt stabile både i bekken fra verkstedsområdet (st.7, fig.6) og i bekken fra miljøtestanlegget (st.8, Fig.6). Det samme har vært tilfelle for bly med unntak av i 1993 og 1994 (st. 7) og 1997 (st. 8). Kilden til forurensningene disse årene ble fjernet.



Figur 6. Middelkonsentrasjonene av kobber (Cu) og bly (Pb) i vannmoser ved i bekkene fra verkstedsområdet (stasjon 7) og miljøtestanlegget (st.8) i Veltmannåa. Verdiene etter 2004 er estimert (kap.2.1)

3.4.2 Tidstrend basert på vannanalyser

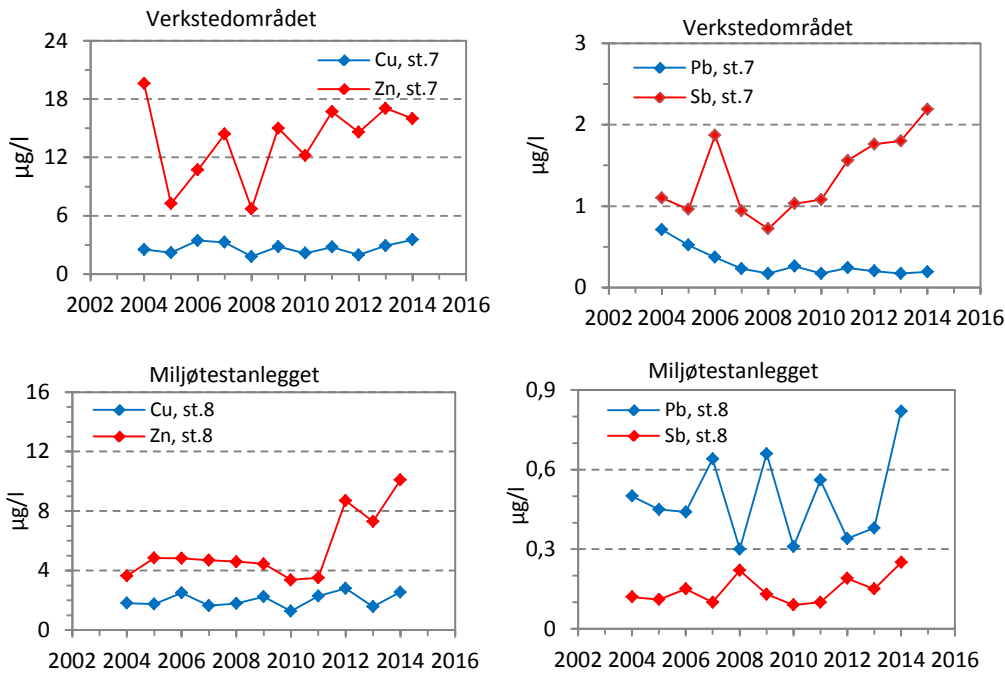
Verkstedsområdet

I bekken fra verkstedsområdet var middelkonsentrasjonene av sink, kobber og bly i 2013 og 2014 på nivå med de fire foregående årene, mens middelkonsentrasjonene av antimon har økt årlig siden 2008 og var i 2014 det høyeste vi har målt. Det er sannsynlig at en antimonkilde finnes på verkstedsområdet og utslippet av denne bør begrenses. Middelkonsentrasjonene av kobber og bly var på nivå med middelkonsentrasjonene i Veltmannåa (Fig.4). Middelkonsentrasjonene av bly har sunket fra 2004 til 2007 og har siden vært nær 0,25 µg/L, mens kobber har vært nær 3 µg/L i hele perioden.

Middelkonsentrasjonene av antimon og sink har vært høyere enn de vi vanligvis finner i Veltmannåa. I 2014 var middelkonsentrasjonen av sink nær 13 µg/L og antimon 2,4 µg/L som er henholdsvis 4 og 24 ganger høyere enn i Veltmannåa. Det rimelig å anta at det er lokale kilder for sink og antimon inne på verkstedsområdet som er årsaken til dette. Det var særlig ved lav vannføring at konsentrasjonene var høyest. Bekken har liten vannføring ved målestasjonen, men tilføres vann fra skogsområdene lenger ned. Dette vil bidra til å senke metall-konsentrasjonene. Vi regner derfor med at avrenningen fra verkstedsområdet ikke forurenser områdene lenger ned bekken i nevneverdig grad. Likevel bør en få kontroll på kildene i verkstedsområdet.

Miljøtestanlegget

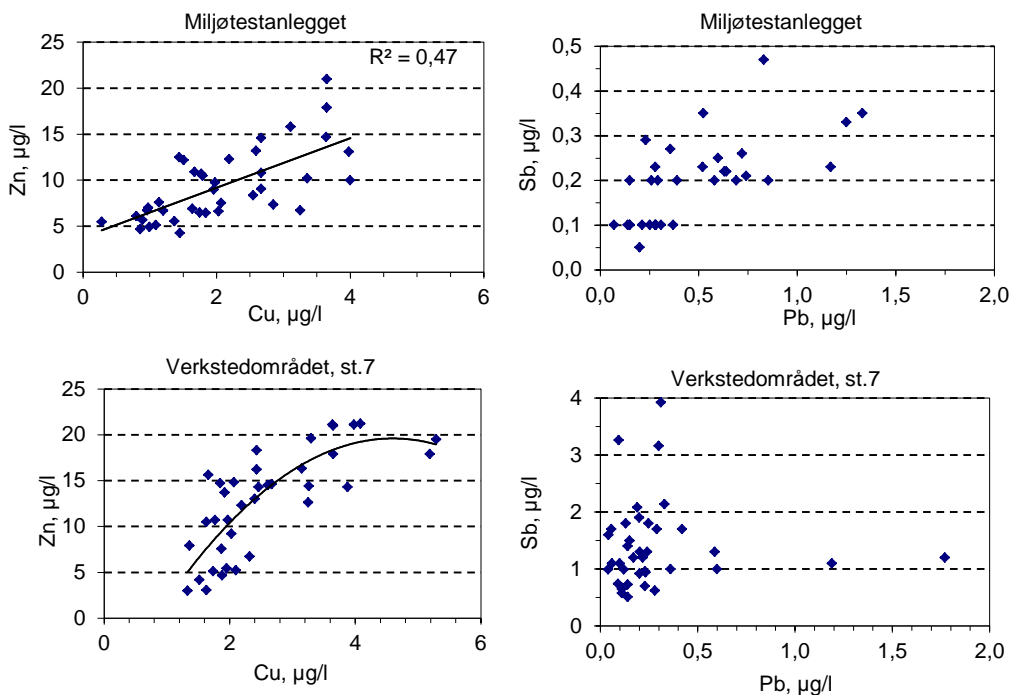
Bekken fra miljøtestanlegget har, fram til og med 2011, hatt relativt lave metallkonsentrasjoner (Fig.7), og nære de vi har målt i Veltmannåa (Fig.4). I 2014 var middelkonsentrasjonene for kobber, bly og antimon nær de samme som tidligere er målt, mens for sink var den nær en betydelig høyere. I perioden 2012-2014 har det skjedd en betydelig økning i konsentrasjonene av sink og de er nå 2,5 ganger høyere enn i perioden 2003-2011. Det er derfor en relativt ny sink-kilde ved miljøtestanlegget.



Figur 7. Middelskonsentrasjoner av kobber (Cu), bly (Pb), sink (Zn) og antimon (Sb) i bekken fra verkstedområdet og fra miljøtestanlegget

3.4.3 Sammenheng mellom metallkonsentrasjoner

Ammunisjon (særlig geværammunisjon) består ofte av en kappe av kobber og sink og en kjerne av bly og antimon. Konsentrasjonene av disse metallene er derfor ofte nært korrelert i avrenning fra skytefelt (Rognerud 2005b). Det var en relativt god sammenheng mellom konsentrasjonene av kobber og sink i bekken fra verkstedområdet, mens sammenhengen var dårligere i bekken fra miljøtestanlegget (Fig.8)



Figur 8. Sammenhengen mellom kobber (Cu) og sink (Zn), samt bly (Pb) og antimon (Sb) i bekkene

I bekken fra verksted-området var konsentrasjonene av sink var ca 5 ganger høyere enn kobber, mens i bekken fra miljøtestanlegget og i Veltmannåa var de 3-4 ganger høyere (Fig.4 og 8). Dette indikerer at kildene på verkstedområdet kan være litt forskjellig fra kildene til Veltmannåa og miljø-testanlegget. Sammenhengen mellom bly og antimon ved miljøtestanlegget var relativt god, men spredningen var stor. Ved verkstedområdet var det ingen sammenheng vesentlig på grunn av 2 målinger med betydelig høyere Pb/Sb forhold enn de andre. Dette kan også skyldes at miljøet i disse områdene er alkalisk og at mobiliteten av bly fra punktkilder vil være betydelig lavere og mer variabel enn for antimon.

3.4.4 Raketstandplass

Målingene av metallkonsentrasjoner i bekken ved raketstandplass er gitt i tabell 2. Vannkvaliteten i bekken ved raketstandplassen kan beskrives som svakt alkalisk og betydelig humus-påvirket. Bekken drenerer myr/sumpområder og det alkaliske miljøet kan skyldes at deler av området er kalket. Metallkonsentrasjonene har generelt vært høyere enn i Veltmannåa og i bekken fra det nærliggende miljøtestanlegget. Midlere konsentrasjon var litt over LBRL«Lowest biological risk level» for kobber, men lavere for de andre metallene. TOC konsentrasjonen er høy slik at faren for negative effekter i biota vurderes som liten. Vannføringen er generelt lav og området er relativt flatt. Økt tilførsel av vann fra områder utenfor testsenteret gjør at betydningen av metallforurensningen utenfor feltet vurderes som liten. Det var ingen klar tidstrend for metallene i perioden 2011-2014.

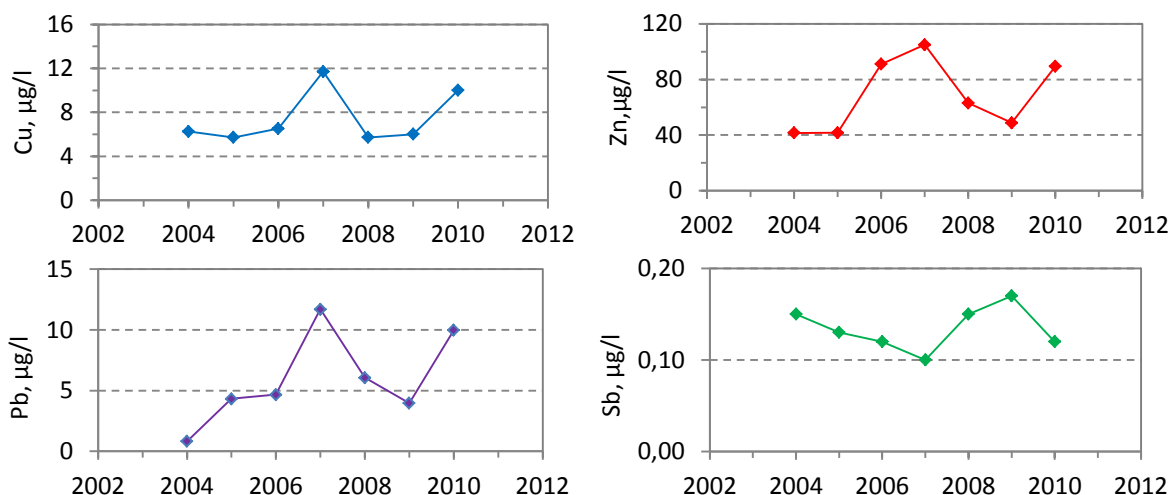
Tabell.2. pH, TOC og metallkonsentrasjoner ved raketstandplass, st. 9 i perioden 2011-2014

st.9 dato	pH	TOC mgC/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Sb µg/L	Zn µg/L
28.09.2011	7,35	12,8	5,14	1,16	0,72	37,7
02.11.2011	7,28	18,8	3,39	1,87	0,35	13,2
07.05.2012	7,20	11,5	5,04	0,851	0,29	43,3
02.07.2012	7,40	15,9	2,46	1,66	0,25	24,5
04.09.2012	7,58	17,4	1,55	1,28	0,29	16,9
31.10.2012	7,32	11,2	2,16	0,867	0,26	25,3
15.06.2013	7,25	15,5	3,59	1,55	0,28	22,8
05.08.2013	7,76	18,5	1,04	1,06	0,28	21,7
06.01.2014	7,16	12,4	4,56	0,917	0,48	24,6
24.04.2014	7,13	9,3	6,41	0,717	0,65	23,1
03.06.2014	7,82	10,7	4,23	1,93	0,27	18,6
05.08.2014	7,13	25,9	10,9	1,82	0,87	28,3
24.09.2014	7,19	15,5	2,40	2,15	0,24	12,1
20.10.2014	7,26	16,7	5,75	0,94	0,55	26,3
Middelverdi	7,35	15,2	4,19	1,34	0,41	22,8

3.5 Utlekking av metaller fra deponiet

3.5.1 Grunnvannsbrønnen

Selv om målingene i denne brønnen ble avsluttet i 2010, så tas de med her for å holde all informasjon knyttet til overvåkingen i årsrapportene. Konsentrasjonene av metaller i Brønn 4 varierte betydelig, særlig for kobber, bly og sink (som forekommer som kationer i dette miljøet) i måle-perioden (Fig.9). Variasjonene i konsentrasjonene for antimon var langt mindre. Dette kan skyldes at antimon opptrer som et anion i miljøet og er langt mer mobilt enn de ovennevnte kationene i dette alkaliske miljøet. Det er rimelig å tro at de store svingningene i konsentrasjoner av kationene kan ha vært forårsaket av variasjoner i grunnvannstrømmen, og at det tidvis var mer turbid vann. Turbid vann indikerer økte mengder partikler/kolloider som ofte binder metallkationer effektivt. I 2010 var brønnen fylt opp av finkorna sedimenter og prøvetakningen ble avsluttet.



Figur 9. Konsentrasjoner av kobber (Cu), bly (Pb), sink (Zn) og antimon (Sb) i grunnvannsig fra metalldeponiet. Målingene er fra brønn 4 som ligger nærmest Veltmannåa.

3.5.2 Bekk 4

Denne prøvestasjonen ligger 15m nedstrøms den gjennfylte grunnvannsbrønnen. I dette området kommer grunnvannet ut i dagen og det renner videre ned i Veltmannåa (Fig.1). Det er rimelig å anta at denne stasjonen også kan motta vann fra andre deler av området enn bare i det dalsøkket der deponiet befinner seg. Dette er det eneste synlige utsiget i området og det renner ned i Veltmannåa.

Vannkvaliteten i bekk 4 kan generelt beskrives som svakt alkalisk, markert humuspåvirket og med relativt lave konsentrasjoner av metaller, uten noen klar tidstrend (Tab.3). De siste målingene i grunnvannsbrønnen i 2010 viste betydelig høyere metall-konsentrasjoner (Fig.9). Det er derfor tydelig at metallene fra dette deponiet ennå ikke har nådd området hvor grunnvannet kommer ut i dagen. Det er også mulig at de fleste metaller er assosiert til partikler som ikke slipper ut fra grunnvannet til dette utløpet. De lave konsentrasjonene stemmer godt overens med at konsentrasjonene av metaller ikke øker i Veltmannåa fra st.3 og st.4 (Fig.1).

Tabell.3. pH, TOC og metallkonsentrasjoner ved stasjon Bekk 4.

Bekk 4 dato	pH	TOC mgC/L	Cu µg/L	Pb µg/L	Sb µg/L	Zn µg/L
25.05.2011	7,57	14,1	1,98	0,202	0,20	6,8
12.08.2011	6,72	19,1	1,20	0,310	0,10	3,9
28.09.2011	7,42	20	2,55	0,737	0,21	8,4
02.11.2011	6,96	11	1,52	0,097	0,06	11,6
07.05.2012	7,40	5,9	0,79	0,048	0,10	2,3
02.07.2012	7,50	7,0	0,58	0,032	0,08	1,8
04.09.2012	7,62	8,0	0,10	0,039	0,07	2,3
31.10.2012	7,47	5,8	0,63	0,120	0,07	3,7
15.06.2013	7,39	8,6	0,98	0,039	0,09	1,9
05.08.2013	7,43	10,9	0,75	0,039	0,06	2,6
06.01.2014	7,11	6,4	0,87	0,020	0,07	1,5
24.04.2014	7,40	5,7	1,07	0,010	0,10	2,1
03.06.2014	7,79	7,7	0,97	0,024	0,08	2,1
05.08.2014	7,47	13,4	1,21	0,066	0,10	3,0
24.09.2014	7,31	7,8	1,44	0,070	0,08	3,8
20.10.2014	7,45	10,0	1,52	0,053	0,10	2,7
Middelverdi	7,38	10,1	1,14	0,119	0,10	3,78

4. Diskusjon

I Veltmannåa var konsentrasjonene av de undersøkte metallene (Cu, Pb, Zn og Sb) lavere enn grensene som er satt for laveste grenser for negative biologiske effekter, såkalt LBRL (Lowest Biological Risk Level). I overvåkingsperioden har det generelt vært et lite bidrag av kobber og bly fra feltet, men dette bidraget er så lavt at vi kan konkludere med at testsenteret ikke forurenses Veltmannåa nevneverdig. Konsentrasjonene av metaller i grunnvannsbrønnen nedstrøms metalldeponiet var betydelig høyere enn i Veltmannåa før den gikk tett av finkorna sedimenter i 2010. Likevel har det ikke vært noen forskjell i metallkonsentrasjoner i Veltmannåa oppstrøms og nedstrøms området der utsiget fra deponiet forventes å nå Veltmannåa. Dette skyldes antagelig en kombinasjon av at delnedbørfeltet der deponiet ligger utgjør en svært liten del av nedbørfeltet til Veltmannåa, og at metallene bindes i de finkorna løsmassene før de når Veltmannåa. Dette sistnevnte støttes av at det er lave metallkonsentrasjoner i bekken som slår ut i dagen nedstrøms grunnvanns-brønnen. Vi kan derfor konkludere med at grunnvannsutsiget fra deponiet ikke har forurenset Veltmannåa nevneverdig.

Testsenteret avvannes i all hovedsak av Veltmannåa og denne bekken er så vidt stor at vannkvaliteten kan ha betydning for brukere i områdene nedstrøms. Overvåkingen har imidlertid vist at aktiviteten ved testsenteret ikke har forringet vannkvaliteten i Veltmannåa nevneverdig med hensyn til de metaller vi har undersøkt.

Bekkene fra verkstedsområdet, miljøtestanlegget og raketstandplassen har lav vannføring og eventuelle utslipp av metaller vil raskt kunne spores i form av økte konsentrasjoner. I overvåkingsperioden har konsentrasjonene stort sett vært lavere enn LBRL-grensene. Det har vært unntaket slik som ved to episodiske utslipp av bly i 1993 (verkstedsområdet) og 1997 (miljøtestsenteret). Årsaken til utslippene ble fjernet, og således har overvåkingen virket etter hensikten. Konsentrasjonene av sink økte betydelig i bekken fra miljøtestanlegget etter 2012. Det bør sjekkes om kilden kan identifiseres og om den kan fjernes.

De siste fire årene har det vært en gradvis økning i konsentrasjonene av antimon fra verkstedsområdet. Denne kilden bør identifiseres og fjernes slik at denne utviklingen ikke fortsetter. I bekkene fra både raketstandplass og verkstedsområdet har konsentrasjonene av kobber periodevis vært noe høyere enn LBRL-grensen. Denne overskridelsen vurderes ikke ennå som kritisk for organismer i disse bekkene fordi konsentrasjonene av organiske kompleksdannere (TOC) er relativt høyt.

Bidrag av vann fra skogsområdene nedstrøms testsenteret vil føre til en fortykning av metallkonsentrasjonene i bekkene. Med unntak av de to ovennevnte episodene ved verkstedsanlegget og miljøtestanlegget er det lite sannsynlig at testsenteret har forurenset bekkene nevneverdig og følgelig ikke hatt negative konsekvenser for biota i bekken eller for andre brukere nedstrøms.

Som en oppsummering kan vi si at aktiviteten ved testsentert ikke har bidratt til nevneverdig forurensning av de metaller vi har undersøkt i bekkene som avvanner testsenteret. Overvåkingen gjennom 23 år er en viktig styrke for denne konklusjonen. Den årlige overvåkingen har også den store fordel at eventuelle episodiske utslipp kan stanses på et tidlig tidspunkt og hindre at negative biologiske effekter skjer i bekkene nedstrøms testsenteret.

5. Referanser

- Andersen, J.R. et al. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT Veiledning 97:04.31s.
- Holtan, H. og Rosland, D.S. 1992. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-veileder nr. 92:06. SFT-TA- 905/1992.
- Lydersen, E., Løfgren, S and Arnesen, R.T. 2002. Metals in Scandinavian surface waters: effects of acidification, liming and potential reacidification. Critical Rev. Environ. Sci. Technol. 32: Issue 2 and 3. 295s.
- Rognerud, S. 2004. Bradalsmyra testsenter. Vannkvalitet i grunnvann i tilknytning til et deponi og i Veltmannåa som avvanner størstedelen av testsenteret. NIVA-rapport Lnr. 4919-2004.
- Rognerud, S. 2005. Bradalsmyra testsenter. Metallkonsentrasjoner i bekker som avvanner testsenteret, og i grunnvann fra et metalldeponi. NIVA-rapport Lnr 5110-2005.
- Rognerud, S. 2005b. Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater fra 14 års overvåkning. NIVA-rapport 4944-2005. 62 sider + vedlegg.
- Rognerud, S. og Rustadbakken, A. 2007. Tungmetallavrenning fra sivile skytebaner. Resultater fra undersøkelsene i 2006. NIVA-rapport Lnr. 5367-2007.
- Rognerud, S. 2007. Bradalsmyra testsenter. Metallkonsentrasjoner i bekker som avvanner testsenteret, og i grunnvann fra et metalldeponi. NIVA-rapport Lnr. 5372-2007.
- Rognerud, S. 2009. Bradalsmyra testsenter. Metallkonsentrasjoner i bekker som avvanner testsenteret, og i grunnvann fra et metalldeponi. NIVA-rapport Lnr. 5894-2009
- Rognerud, S. 2011. Bradalsmyra testsenter. Overvåkning av metallkonsentrasjoner i bekker og grunnvannsig. NIVA-rapport Lnr. 6103-2011.
- Rognerud, S. 2012a. Bradalsmyra testsenter. Overvåkning av metallkonsentrasjoner i bekker og grunnvannsig. NIVA-rapport Lnr. 6318-2012.
- Rognerud, S. 2012b. Bradalsmyra testsenter. Overvåkning av metallkonsentrasjoner i bekker og grunnvannsig. NIVA-rapport. Lnr. 6455-2012
- Rognerud, S. 2014. Bradalsmyra testsenter. Overvåkning av metallkonsentrasjoner i bekker og grunnvannsig. NIVA-rapport. Lnr. 6689-2014

Vedlegg A.

Tabell 4. Primærdata for Bradalsmyra testsenter. Metallkonsentrasjoner i vann, pH og TOC i bekker og en grunnvannsbrønn (Brønn 4) i perioden 2004 – 2012. I 2011 ble brønn 4 fylt opp av finkorna masser. Fra og med 2011 er prøvene tatt 15 m nedenfor brønnen i en liten bekk (Bekk 4) som renner ut i Veltmannsåa og den antas også og drenerer området rundt brønn 4.

Lokalitet	stasjon	Dato	pH	TOC mgC/l	Cu µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Zn µg/l
Bradalsmyra	1	07.07.2004			0,60	0,25	0,08	5,0
Bradalsmyra	1	04.08.2004			0,63	0,31	0,06	5,1
Bradalsmyra	1	30.08.2004			0,44	0,20	0,05	3,4
Bradalsmyra	1	04.11.2004	5,56	7,9	0,32	0,14	0,05	2,0
Bradalsmyra	1	31.05.2005	5,81	8,0	0,51	0,13	0,07	3,6
Bradalsmyra	1	07.07.2005			1,87	0,65	0,06	9,3
Bradalsmyra	1	04.08.2005			0,55	0,21	0,10	12,0
Bradalsmyra	1	08.09.2005			0,36	0,15	0,06	3,4
Bradalsmyra	1	11.10.2005			0,32	0,14	0,07	3,0
Bradalsmyra	1	03.11.2005			0,41	0,15	0,09	4,5
Bradalsmyra	1	08.05.2006			0,51	0,16	0,10	5,4
Bradalsmyra	1	02.06.2006			0,51	0,24	0,20	4,1
Bradalsmyra	1	03.07.2006			2,16	1,02	0,10	13,7
Bradalsmyra	1	21.08.2006			2,40	0,39	0,10	7,9
Bradalsmyra	1	18.09.2007	5,90	13,0	3,30	0,39	0,06	8,4
Bradalsmyra	1	27.10.2008	6,18	9,4	0,33	0,14	0,05	3,6
Bradalsmyra	1	26.11.2008	5,71	7,2	0,31	0,11	0,68	4,8
Bradalsmyra	1	07.08.2009	5,84	13,8	2,75	0,60	0,10	7,0
Bradalsmyra	1	18.10.2009	5,95	10,3	0,36	0,17	0,20	4,5
Bradalsmyra	1	09.10.2009	6,13	9,1	0,37	0,15	0,06	3,8
Bradalsmyra	1	16.11.2009	5,82	8,6	0,31	0,11	0,06	4,1
Bradalsmyra	1	09.06.2010	5,91	10,7	0,42	0,14	0,06	4,18
Bradalsmyra	1	07.07.2010	6,22	11,5	1,83	0,38	0,07	6,96
Bradalsmyra	1	04.08.2010	5,99	14,9	0,21	0,27	0,06	5,38
Bradalsmyra	1	25.05.2011	6,09	7,7	0,56	0,13	0,06	3,58
Bradalsmyra	1	12.08.2011	5,96	13,9	0,46	0,21	0,09	4,57
Bradalsmyra	1	28.09.2011	5,95	11,0	0,45	0,18	0,06	4,35
Bradalsmyra	1	02.11.2011	6,19	8,9	0,30	0,13	0,06	3,44
Bradalsmyra	1	07.05.2012	5,90	6,9	0,352	0,11	0,07	3,01
Bradalsmyra	1	02.07.2012	6,10	8,6	0,328	0,16	0,05	3,38
Bradalsmyra	1	04.09.2012	6,11	10,6	0,01	0,16	0,06	3,63
Bradalsmyra	1	31.10.2012	5,87	7,7	0,366	0,11	0,06	3,49
Bradalsmyra	1	15.06.2013	6,03	9,5	0,487	0,12	0,06	3,22
Bradalsmyra	1	05.08.2013	6,48	12,5	0,507	0,33	0,07	4,03
Bradalsmyra	1	06.01.2014	5,47	8,3	0,392	0,11	0,08	3,91
Bradalsmyra	1	24.04.2014	6,07	6,2	0,37	0,09	0,10	3,65
Bradalsmyra	1	03.06.2014	6,12	7,1	0,48	0,14	0,06	3,43
Bradalsmyra	1	05.08.2014	6,04	12,5	0,53	0,23	0,10	4,27
Bradalsmyra	1	24.09.2014	6,07	9,8	0,86	0,16	0,09	4,75
Bradalsmyra	1	20.10.2014	5,75	12,6	0,48	0,14	0,10	5,01

Bradalsmyra	3	08.05.2006			1,52	0,23	0,20	4,7
Bradalsmyra	3	02.06.2006			1,70	0,30	0,23	4,0
Bradalsmyra	3	03.07.2006			0,71	0,12	0,08	2,0
Bradalsmyra	3	21.08.2006			1,40	0,50	0,11	2,6
Bradalsmyra	3	18.09.2007	6,90	12,0	2,14	0,62	0,10	5,4
Bradalsmyra	3	27.10.2008	6,85	8,4	0,97	0,31	0,09	3,4
Bradalsmyra	3	26.11.2008	6,52	5,8	0,91	0,30	0,48	5,9
Bradalsmyra	3	07.08.2009	6,87	12,9	1,82	0,48	0,10	5,4
Bradalsmyra	3	18.10.2009	6,86	6,7	1,42	0,23	0,20	2,9
Bradalsmyra	3	09.10.2009	6,91	8,5	1,35	0,33	0,10	4,0
Bradalsmyra	3	16.11.2009	6,55	8,4	0,84	0,20	0,10	3,6
Bradalsmyra	3	09.06.2010	6,93	8,3	1,23	0,25	0,10	3,93
Bradalsmyra	3	07.07.2010	6,94	6,7	0,79	0,23	0,07	2,48
Bradalsmyra	3	04.08.2010	6,92	14,8	0,66	0,41	0,09	3,57
Bradalsmyra	3	25.05.2011	6,88	7,0	1,77	0,39	0,20	3,94
Bradalsmyra	3	12.08.2011	6,73	13,3	1,05	0,28	0,10	3,65
Bradalsmyra	3	28.09.2011	6,77	10,1	1,24	0,26	0,10	3,94
Bradalsmyra	3	02.11.2011	6,84	8,0	1,53	0,30	0,10	3,86
Bradalsmyra	3	07.05.2012	5,90	6,9	0,352	0,11	0,07	3,01
Bradalsmyra	3	02.07.2012	6,10	8,6	0,328	0,16	0,05	3,38
Bradalsmyra	3	04.09.2012	6,11	10,6	0,510	0,16	0,06	3,63
Bradalsmyra	3	31.10.2012	6,73	6,3	0,797	0,16	0,10	3,33
Bradalsmyra	3	15.06.2013	6,83	9,1	1,29	0,239	0,10	3,04
Bradalsmyra	3	05.08.2013	7,02	6,7	1,02	0,220	0,08	2,15
Bradalsmyra	3	06.01.2014	6,47	8,4	0,962	0,20	0,10	4,69
Bradalsmyra	3	24.04.2014	6,53	6,3	1,10	0,15	0,10	3,53
Bradalsmyra	3	03.06.2014	7,06	6,2	1,97	0,1	0,10	4,86
Bradalsmyra	3	05.08.2014	6,68	17,3	2,63	0,69	0,10	6,94
Bradalsmyra	3	24.09.2014	6,85	9,1	2,01	0,26	0,10	4,59
Bradalsmyra	3	20.10.2014	6,54	12,4	1,05	0,15	0,10	4,36
Bradalsmyra	4	07.07.2004			1,87	0,47	0,10	5,4
Bradalsmyra	4	04.08.2004			1,17	0,33	0,20	3,0
Bradalsmyra	4	30.08.2004			1,14	0,24	0,10	3,3
Bradalsmyra	4	04.11.2004			1,36	0,24	0,09	2,9
Bradalsmyra	4	31.05.2005			1,29	0,25	0,10	3,4
Bradalsmyra	4	07.07.2005			1,12	0,18	0,10	3,7
Bradalsmyra	4	04.08.2005			1,23	0,32	0,10	9,6
Bradalsmyra	4	08.09.2005			1,27	0,22	0,09	3,3
Bradalsmyra	4	11.10.2005			1,35	0,26	0,10	3,7
Bradalsmyra	4	03.11.2005			1,88	0,39	0,20	5,1
Bradalsmyra	4	08.05.2006			1,60	0,27	0,20	5,8
Bradalsmyra	4	02.06.2006			1,31	0,21	0,20	3,3
Bradalsmyra	4	03.07.2006			0,97	0,19	0,10	3,6
Bradalsmyra	4	21.08.2006			1,50	0,52	0,10	6,6
Bradalsmyra	4	18.09.2007	7,05	11,7	1,61	0,58	0,10	4,7
Bradalsmyra	4	27.10.2008	7,03	8,2	1,02	0,28	0,08	3,7
Bradalsmyra	4	26.11.2008	6,99	5,4	0,90	0,25	0,37	5,5
Bradalsmyra	4	07.08.2009	7,09	12,4	1,77	0,44	0,10	5,2
Bradalsmyra	4	18.10.2009	7,28	6,9	1,02	0,30	0,20	3,8
Bradalsmyra	4	09.10.2009	7,12	8,8	1,28	0,34	0,10	4,3
Bradalsmyra	4	16.11.2009	6,72	8,2	1,11	0,26	0,10	4,5
Bradalsmyra	4	09.06.2010	7,18	8,0	0,99	0,24	0,10	2,94

Bradalsmyra	4	07.07.2010	7,60	6,5	0,92	0,25	0,08	2,67
Bradalsmyra	4	04.08.2010	7,17	14,8	0,88	0,52	0,10	4,52
Bradalsmyra	4	25.05.2011	7,21	6,4	1,20	0,21	0,10	2,47
Bradalsmyra	4	12.08.2011	6,88	12,9	1,24	0,31	0,10	4,18
Bradalsmyra	4	28.09.2011	6,96	9,7	1,23	0,21	0,10	3,97
Bradalsmyra	4	02.11.2011	7,08	7,4	1,01	0,27	0,10	3,48
Bradalsmyra	4	07.05.2012	6,90	6,2	1,02	0,17	0,10	2,42
Bradalsmyra	4	02.07.2012	7,30	7,8	1,07	0,259	0,10	2,89
Bradalsmyra	4	04.09.2012	7,27	7,8	0,33	0,225	0,09	2,82
Bradalsmyra	4	31.10.2012	6,98	6,0	0,792	0,14	0,10	3,15
Bradalsmyra	4	15.06.2013	6,88	9,2	1,62	0,291	0,10	3,28
Bradalsmyra	4	05.08.2013	7,50	6,2	0,892	0,17	0,09	2,11
Bradalsmyra	4	06.01.2014	6,67	7,9	1,50	0,274	0,20	5,22
Bradalsmyra	4	24.04.2014	6,71	6,0	1,21	0,13	0,10	3,65
Bradalsmyra	4	03.06.2014	7,45	6,9	1,30	0,19	0,09	2,88
Bradalsmyra	4	05.08.2014	6,89	17,1	2,79	0,62	0,10	6,94
Bradalsmyra	4	24.09.2014	7,18	8,7	1,03	0,19	0,09	2,91
Bradalsmyra	4	20.08.2014	6,71	12	1,61	0,20	0,21	8,37
Bradalsmyra	7	07.07.2004			3,30	1,19	1,10	19,6
Bradalsmyra	7	04.08.2004			1,74	0,23		
Bradalsmyra	7	31.05.2005			1,95	0,14	1,40	5,4
Bradalsmyra	7	07.07.2005			1,63	0,04	0,99	3,1
Bradalsmyra	7	04.08.2005			2,40	0,23	0,96	13,0
Bradalsmyra	7	08.09.2005			1,88	0,28	0,62	4,7
Bradalsmyra	7	11.10.2005			1,33	0,11	0,58	3,0
Bradalsmyra	7	03.11.2005			3,88	1,77	1,20	14,3
Bradalsmyra	7	08.05.2006			6,08	0,49	2,90	18,3
Bradalsmyra	7	02.06.2006			3,25	0,20	1,90	12,6
Bradalsmyra	7	03.07.2006			2,32	0,36	1,00	6,7
Bradalsmyra	7	21.08.2006			2,10	0,42	1,70	5,2
Bradalsmyra	7	18.09.2007	7,70	8,5	3,26	0,23	0,94	14,4
Bradalsmyra	7	27.10.2008	7,86	6,2	1,52	0,14	0,51	4,2
Bradalsmyra	7	26.11.2008	7,86	5,6	2,03	0,20	0,92	9,2
Bradalsmyra	7	07.08.2009	7,77	8,5	4,08	0,22	1,20	21,2
Bradalsmyra	7	18.10.2009	7,81	8,3	1,63	0,11	0,65	10,5
Bradalsmyra	7	09.10.2009	7,90	9,3	1,87	0,12	0,99	7,5
Bradalsmyra	7	16.11.2009	7,41	5,9	3,64	0,59	1,30	21,1
Bradalsmyra	7	09.06.2010	7,84	8,8	2,46	0,14	0,73	14,3
Bradalsmyra	7	07.07.2010	7,88	8,0	1,36	0,17	1,20	7,9
Bradalsmyra	7	04.08.2010	7,84	10,2	2,61	0,20	1,30	14,5
Bradalsmyra	7	25.05.2011	7,63	7,7	2,07	0,33	2,14	14,8
Bradalsmyra	7	12.08.2011	7,50	9,1	3,15	0,24	1,30	16,3
Bradalsmyra	7	28.09.2011	7,71	9,7	3,98	0,29	1,70	21,1
Bradalsmyra	7	02.11.2011	7,91	6,9	1,85	0,10	1,10	14,7
Bradalsmyra	7	07.05.2012	7,80	4,9	2,43	0,095	3,26	18,3
Bradalsmyra	7	02.07.2012	7,90	5,6	1,92	0,057	1,70	13,7
Bradalsmyra	7	04.09.2012	7,91	7,1	1,66	0,599	1,00	15,6
Bradalsmyra	7	31.10.2012	7,84	5,1	1,77	0,06	1,10	10,7
Bradalsmyra	7	15.06.2013	7,61	7,1	3,65	0,19	2,08	21,0
Bradalsmyra	7	05.08.2013	7,90	7,0	2,19	0,15	1,5	12,3
Bradalsmyra	7	06.01.2014	7,58	4,8	2,67	0,13	1,8	14,6
Bradalsmyra	7	24.04.2014	7,73	4,4	3,65	0,300	3,16	17,9

Bradalsmyra	7	03.06.2014	8,10	5,4	2,43	0,04	1,6	16,2
Bradalsmyra	7	05.08.2014	7,57	10,7	5,29	0,31	3,9	19,5
Bradalsmyra	7	24.09.2014	7,73	8,1	1,97	0,09	0,74	10,7
Bradalsmyra	7	20.10.2014	7,75	8,7	5,19	0,25	1,8	17,9
Bradalsmyra	8	07.07.2004			2,67	0,85	0,20	10,8
Bradalsmyra	8	04.08.2004			0,98	0,15		
Bradalsmyra	8	31.05.2005			1,96	0,52	0,23	9,0
Bradalsmyra	8	07.07.2005			1,37	0,15	0,10	5,6
Bradalsmyra	8	04.08.2005			1,44	0,26	0,20	12,5
Bradalsmyra	8	08.09.2005			1,75	0,28	0,10	6,5
Bradalsmyra	8	11.10.2005			0,89	0,14	0,10	5,7
Bradalsmyra	8	03.11.2005			3,11	1,33	0,35	15,8
Bradalsmyra	8	08.05.2006			3,64	0,83	0,47	14,7
Bradalsmyra	8	02.06.2006			3,36	0,356	0,27	10,2
Bradalsmyra	8	03.07.2006			1,79	0,283	0,1	10,5
Bradalsmyra	8	21.08.2006			1,2	0,28	0,1	6,7
Bradalsmyra	8	18.09.2007			1,64	0,64	0,22	6,9
Bradalsmyra	8	27.10.2008	7,61	16,6	2,07	0,39	0,2	7,5
Bradalsmyra	8	26.11.2008	7,61	12,1	1,51	0,23	0,29	12,2
Bradalsmyra	8	07.08.2009	7,66	21,4	3,25	0,597	0,25	6,7
Bradalsmyra	8	18.10.2009	7,53	14,8	0,962	0,15	0,2	6,7
Bradalsmyra	8	09.10.2009	7,61	15,8	1,84	1,17	0,23	6,5
Bradalsmyra	8	16.11.2009	7,17	16,3	2,67	0,72	0,26	9,1
Bradalsmyra	8	09.06.2010	7,63	15,8	2,03	0,29	0,20	6,63
Bradalsmyra	8	07.07.2010	7,77	13,7	0,80	0,07	0,10	6,09
Bradalsmyra	8	04.08.2010	7,72	20,7	1,00	0,58	0,20	4,92
Bradalsmyra	8	25.05.2011	6,31	5,0	1,14	0,20	0,05	7,61
Bradalsmyra	8	12.08.2011	7,38	21,6	1,45	0,69	0,20	4,27
Bradalsmyra	8	28.09.2011	7,42	20,0	2,55	0,74	0,21	8,36
Bradalsmyra	8	02.11.2011	7,60	15,6	4,00	0,63	0,22	10,0
Bradalsmyra	8	07.05.2012	7,40	12,4	2,59	0,523	0,35	13,2
Bradalsmyra	8	02.07.2012	7,70	14,4	1,09	0,309	0,1	5,12
Bradalsmyra	8	04.09.2012	7,79	16,9	0,28	0,252	0,1	5,47
Bradalsmyra	8	31.10.2012	7,45	11,1	1,67	0,282	0,23	10,9
Bradalsmyra	8	15.06.2013	7,41	16,7	1,77	0,553	0,20	8,00
Bradalsmyra	8	05.08.2013	7,78	13,4	1,39	0,203	0,10	6,57
Bradalsmyra	8	06.01.2014	7,23	14,0	2,70	0,509	0,29	11,0
Bradalsmyra	8	24.04.2014	7,22	10,4	3,00	0,409	0,35	14,7
Bradalsmyra	8	03.06.2014	7,81	13,3	1,98	0,37	0,10	9,75
Bradalsmyra	8	05.08.2014	7,30	26,1	2,85	1,25	0,33	7,35
Bradalsmyra	8	24.09.2014	7,51	14,5	0,86	0,21	0,10	4,68
Bradalsmyra	8	20.10.2014	7,24	18,7	3,98	2,16	0,35	13,1
Bradalsmyra	9	28.09.2011	7,35	12,8	5,14	1,16	0,72	37,7
Bradalsmyra	9	02.11.2011	7,27	18,8	3,39	1,87	0,35	13,2
Bradalsmyra	9	07.05.2012	7,20	11,5	5,04	0,851	0,29	43,3
Bradalsmyra	9	02.07.2012	7,40	15,9	2,46	1,66	0,25	24,5
Bradalsmyra	9	04.09.2012	7,58	17,4	1,55	1,28	0,29	16,9
Bradalsmyra	9	31.10.2012	7,32	11,2	2,16	0,867	0,26	25,3
Bradalsmyra	9	15.06.2013	7,16	12,4	4,56	0,917	0,48	24,6
Bradalsmyra	9	05.08.2013	7,76	18,5	1,04	1,06	0,28	2,17
Bradalsmyra	9	06.01.2014	7,16	12,4	4,56	0,917	0,48	24,6
Bradalsmyra	9	24.04.2014	7,13	9,3	6,41	0,717	0,65	23,1

Bradalsmyra	9	03.06.2014	7,82	10,7	4,23	1,93	0,27	18,6
Bradalsmyra	9	05.08.2014	7,13	25,9	10,9	1,82	0,87	28,3
Bradalsmyra	9	24.10.2014	7,19	15,5	2,40	2,15	0,24	12,1
Bradalsmyra	9	20.10.2014	7,26	16,7	5,75	0,94	0,55	26,3
Bradalsmyra	Brønn 4	07.07.2004			4,54	0,04	0,24	36,1
Bradalsmyra	Brønn 4	04.08.2004			9,83	2,36	0,20	103,0
Bradalsmyra	Brønn 4	30.08.2004			2,66	0,71	0,10	12,4
Bradalsmyra	Brønn 4	04.11.2004			7,99	0,22	0,05	14,7
Bradalsmyra	Brønn 4	31.05.2005			9,05	8,72	0,10	58,6
Bradalsmyra	Brønn 4	07.07.2005			1,06	0,61	0,05	3,4
Bradalsmyra	Brønn 4	04.08.2005			7,84	5,83	0,10	76,2
Bradalsmyra	Brønn 4	08.09.2005			3,74	2,80	0,10	27,4
Bradalsmyra	Brønn 4	11.10.2005			4,35	3,57	0,21	23,1
Bradalsmyra	Brønn 4	03.11.2005			8,21	4,39	0,20	61,6
Bradalsmyra	Brønn 4	08.05.2006			7,82	4,68	0,08	39,4
Bradalsmyra	Brønn 4	02.06.2006			5,60	3,80	0,10	32,7
Bradalsmyra	Brønn 4	03.07.2006			5,60	4,67	0,20	22,4
Bradalsmyra	Brønn 4	21.08.2006			7,00	5,50	0,10	270,0
Bradalsmyra	Brønn 4	18.09.2007	6,60	23,0	11,70	11,70	0,10	105,0
Bradalsmyra	Brønn 4	27.10.2008	6,28	20,7	8,15	10,20	0,10	89,0
Bradalsmyra	Brønn 4	26.11.2008	6,54	10,1	3,26	1,92	0,20	37,2
Bradalsmyra	Brønn 4	07.08.2009	6,59	24,4	13,40	12,50	0,20	94,9
Bradalsmyra	Brønn 4	18.10.2009	6,64	18,4	5,45	2,33	0,30	48,7
Bradalsmyra	Brønn 4	09.10.2009	6,87	13,6	2,61	0,26	0,10	25,8
Bradalsmyra	Brønn 4	16.11.2009	6,54	10,6	2,55	0,80	0,10	25,8
Bradalsmyra	Brønn 4	09.06.2010	6,57	35,3	14,40	9,74	0,10	144,0
Bradalsmyra	Brønn 4	07.07.2010	6,84	12,3	1,89	0,367	0,06	6,5
Bradalsmyra	Brønn 4	04.08.2010	6,57	22,0	13,7	19,8	0,2	118,0
Bradalsmyra	Bekk 4	25.05.2011	7,57	14,1	1,98	0,202	0,2	6,8
Bradalsmyra	Bekk 4	12.08.2011	6,72	19,1	1,2	0,31	0,1	3,9
Bradalsmyra	Bekk 4	28.09.2011	7,42	20,0	2,55	0,737	0,21	8,4
Bradalsmyra	Bekk 4	02.11.2011	6,96	11,0	1,52	0,097	0,06	11,6
Bradalsmyra	Bekk 4	07.05.2012	7,40	5,9	0,778	0,048	0,1	2,28
Bradalsmyra	Bekk 4	02.07.2012	7,5	5,6	0,583	0,032	0,08	1,8
Bradalsmyra	Bekk 4	04.09.2012	7,62	8	0,01	0,039	0,07	2,26
Bradalsmyra	Bekk 4	31.10.2012	7,47	5,8	0,63	0,12	0,07	3,73
Bradalsmyra	Bekk 4	15.06.2013	7,38	8,6	0,98	0,039	0,09	1,9
Bradalsmyra	Bekk 4	05.08.2013	7,76	18,5	1,04	1,06	0,28	2,17
Bradalsmyra	Bekk 4	06.01.2014	7,11	6,4	0,870	0,02	0,07	1,5
Bradalsmyra	Bekk 4	24.04.2014	7,40	5,7	1,07	0,01	0,1	2,14
Bradalsmyra	Bekk 4	03.06.2014	7,79	7,7	0,97	0,024	0,08	2,1
Bradalsmyra	Bekk 4	05.08.2014	7,47	13,4	1,21	0,066	0,10	3,0
Bradalsmyra	Bekk 4	24.09.2014	7,31	7,8	1,44	0,07	0,08	3,8
Bradalsmyra	Bekk 4	20.10.2014	7,45	10	1,52	0,053	0,10	2,7

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no